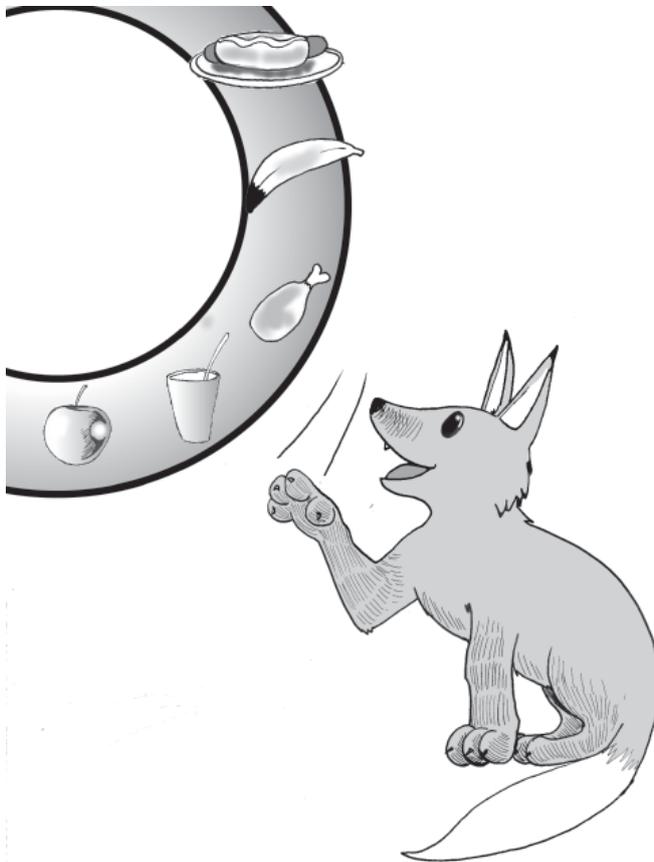
OS CICLOS BIOGEOQUÍMICOS:
MOVIMENTOS DA MATÉRIA

META
Apresentar a matéria em movimento, os grandes ciclos biogeoquímicos e o ciclo da água e seus principais elementos perturbadores.

OBJETIVOS
Ao final desta aula, o aluno deverá:
reconhecer os elementos essenciais para a vida;
distinguir os principais compartimentos da biosfera e os depósitos de nutrientes e sua importância para os processos ecológicos;
e analisar o ciclo da água e explicar por que ele é um ciclo biogeoquímico misto.

PRÉ-REQUISITOS
O aluno deverá revisar o assunto sobre a produtividade do ecossistema.

INTRODUÇÃO

Nesta aula, ficará claro para nós que os organismos são formados por elementos químicos, os quais, em várias situações podem ser chamados de nutrientes. Nos organismos heterotróficos parte destes nutrientes é obtido das plantas que utilizam a energia solar para sintetizá-los. De forma mais ampla, envolvendo também a dinâmica dos componentes abióticos por si, os elementos químicos são circulantes na natureza e provenientes de fontes finitas. O entendimento sobre a circulação de nutrientes reflete o próprio fluxo de energia nos sistemas ecológicos, com ênfase nos locais onde estes nutrientes estão estocados e se libertam para circular: como circulam, onde são incorporados em natureza e como podem retornar aos sistemas.

Nutrientes (Fonte: http://www.afh.bio.br).

MATÉRIA EM MOVIMENTO

Os elementos químicos presentes em todos os ambientes aquáticos e terrestres têm a propriedade de circular na biosfera através de vias próprias, do ambiente aos organismos e destes novamente ao ambiente. Estas vias se chamam ciclos biogeoquímicos ou ciclagem de nutrientes.

Cada ciclo tem basicamente dois compartimentos esquemáticos (ou

pools, do inglês piscina), um envolvendo o reservatório e o outro a dinâmica da ciclagem dos nutrientes propriamente dita.

Reservatório: é o componente maior, de dinâmica lenta, geralmente não biológica, envolvendo ciclos atmosféricos, degradação de rochas e ciclos mistos (por exemplo, o ciclo da água). Do ponto de vista ecológico são importantes porque as alterações são mais lentas, mas podem acarretar mudanças nas condições para todas as espécies.

Ciclagem: corresponde a uma parcela menor do modelo, se comparada ao reservatório, porém muito mais ativa, movendo-se rapidamente entre os organismos e seus ambientes.

Os organismos são sensíveis às alterações nestes ciclos, cujos componentes podem se tornar fonte de pressão de seleção e adaptação.

Do ponto de vista da biosfera como um todo, os ciclos biogeoquímicos se classificam em 2 grupos básicos: os gasosos, nos quais o reservatório está situado na atmosfera ou hidrosfera (oceano), e os sedimentares, nos quais o reservatório localiza-se na crosta terrestre.

Figura1.1. Esquema genérico da ciclagem de um nutriente na biosfera indicando os principais compartimentos e os processos ecológicos envolvidos (Pinto-Coelho, 2000)

Todos os ciclos possuem reservatórios (pools) abióticos que podem ser dos seguintes tipos, como na figura 1.1.

a) reservatório atmosférico (ciclo do N)

b) reservatório rochoso (ciclo do fósforo)
c) reservatório misto (ciclo da água)

O pool biológico pode ser de natureza variada e pode englobar substâncias orgânicas não-vivas. Humus, excretas, sedimentos orgânicos e turfeiras constituem importantes exemplos de sub-compartimentos deste pool nos diversos ecossistemas. O pool biológico normalmente é muito mais restrito que o abiótico, porém é mais dinâmico (a taxa de renovação dele é muito alta).

O controle e monitoramento de poluição ou o estabelecimento de técnicas de manejo sustentado de ecossistemas são exemplos prático do uso aplicado do estudo (quantitativo) dos ciclos biogeoquímicos. Outras aplicações são voltadas para a agricultura, como a determinação e controle da perda ou mau uso de fertilizantes, uso racional de recursos hídricos e de minerais, agricultura 'biológica', controle do aumento de CO2 na atmosfera e aqüicultura.

Ciclos	Depósitos	Forma
Água	Lenta	Geleiras
	Rápida	Vapor d´água na atmosfera (nuvens)
Enxofre	Lento	$FeSO_2$ (pirita) e calcopirita
	rápido	SO_2, SO_3, SO_4 (gases)

Tabela 1.1. Ciclos biogeoquímicos com dois tipos de depósitos abióticos - reciclagem lenta e rápida.

Dentre os mais de noventa elementos conhecidos na natureza, sabe-se que 30 a 40 são necessários aos organismos. Alguns elementos, tais como o carbono, hidrogênio, o oxigênio e o nitrogênio são necessários em grandes quantidades; outros são necessários em quantidades pequenas.

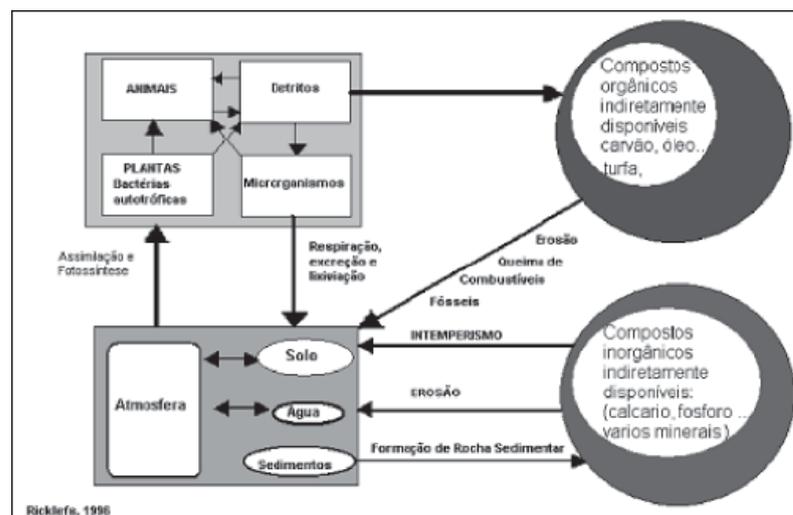



Figura1.2 Modelo generalizado de um ecossistema. As transformações biogeoquímicas são fluxos de elementos entre os compartimentos, na qual cada elemento ocupa ou pode estar em um ou mais compartimento. Fonte: Ricklefs, 1996.

Na figura 1.3, um ciclo biogeoquímico está superposto a um diagrama simplificado de fluxo energético, para mostrar como o fluxo unidirecional da energia movimenta o ciclo da matéria. Nesta figura, o pool reservatório, que é a parcela que fica químicamente ou fisicamente afastada dos organismos, é indicado pelo compartimento intitulado "pool de nutrientes reservatório". O pool ou parcela de ciclagem é designado pelo círculo sombreado que passa dos autótrofos aos heterótrofos, e destes, novamente aos autótrofos.

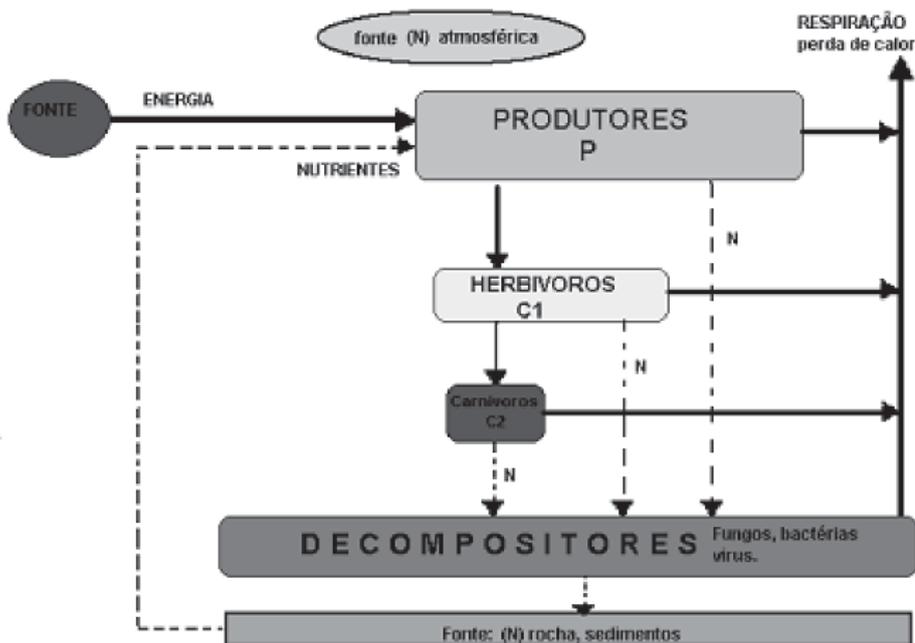



Figura 1.3 Esquema simplificado dos fluxos de matéria (traços pontilhados) e de energia (traços contínuos) nas cadeias alimentares (Leveque, 2001)

O fundamento lógico para se classificar os ciclos biogeoquímicos em gasosos e sedimentares é porque alguns ciclos envolvem carbono, nitrogênio ou oxigênio, que têm grandes reservatórios atmosféricos. Estes ciclos podem ser considerados "bem-tamponados" em termos globais, por causa da grande capacidade de se ajustarem às mudanças. Entretanto existem limites definidos para a capacidade de ajuste, mesmo em um reservatório tão grande quanto a atmosfera. Os ciclos sedimentares envolvem elementos que têm reservatórios na crosta terrestre, tais como o ferro ou fósforo. Estes ciclos são menos controlados e mais rapidamente afetados por perturbações, já que a grande massa de material está no reservatório relativamente inativo e imóvel nas rochas.

CICLO BIOGEOQUÍMICO MISTO

Por razões didáticas, os principais ciclos biogeoquímicos serão abordados separadamente, porém é importante pensar em todos os ciclos

trabalhando dinamicamente. Muitas vezes são sinérgicos, um nutriente em movimento está associado diretamente ou indiretamente.

CICLO DA ÁGUA

A água é o constituinte orgânico mais abundante nos seres vivos e, por isso, é o mais essencial para a manutenção da vida. A própria biomassa dos ecossistemas é proporcional ao índice pluviométrico.

Há muito mais água associada aos minerais das camadas geológicas mais profundas - e, portanto, indispensáveis aos seres vivos - do que no ciclo da água (ou ciclo hidrológico). Desta, 97% está no reservatório (os oceanos). O reservatório de água doce são as geleiras, que possuem 77% de água.

O ciclo da água consiste na evaporação, formação de nuvens e precipitação sob a forma líquida (chuva, orvalho, nevoeiro) ou sólida (neve, granizo). A vegetação atua mantendo a umidade, regulando as chuvas e protegendo o solo da erosão. Já nas cidades e áreas desmatadas ocorre o fenômeno inverso, a água escoa rapidamente. Além disso, estando o solo impermeabilizado (pela cobertura de asfaltos e construções), a água da chuva é rapidamente escoada e perdida para os rios.

As atividades humanas são, agora, capazes de causar impactos significativos sobre o ciclo da água. O principal deles é a retirada da água dos rios e lagos para consumo humano, que seguiria para os oceanos. A conseqüência imediata disso seria uma maior taxa de evaporação continental e, em decorrência, um aumento sensível nas chuvas sobre áreas continentais.

A água é vital para a biosfera. Ela é o solvente universal, graças a sua estrutura atômica com elevada constante dielétrica. Ela forma com facilidade soluções iônicas e colóides com miscelas de carga eletrostática. Além disso, suas pontes de hidrogênio permitem a estabilidade da fase líquida

numa amplitude térmica muito grande (0 a 100 ºC). A estrutura química da água também possibilita a formação de soluções não eletrolíticas. A água ainda apresenta grande capacidade em dissolver gases tais como o oxigênio e o gás carbônico. Esta capacidade é muito influenciável pela temperatura, pressão e tipo do gás. Outra característica fundamental da água refere-se ao seu comportamento anômalo em relação à densidade. Ela se expande quando é resfriada de 4º C a 0º C. A densidade da água a 4 ºC é 1,0 e a O ºC é 0.92. Assim a água congela-se de cima para baixo. Este fato explica porque é possível a intensa vida aquática nas zonas polares. A água apresenta maiores variações de densidade às diferentes temperaturas. Este fato explica porque pequenas variações térmicas em mares e lagos tropicais podem causar estratificações térmicas relativamente resistentes à ação do vento.

A estratificação térmica em lagos e mares é muito importante, pois implica também em estratificação química e, muitas vezes, em uma estratificação biológica. Naturalmente, tal característica traz importantes conseqüências para todos os demais ciclos biogeoquímicos nos ambientes aquáticos.

A água tem ainda uma alta viscosidade que decresce com o aumento da temperatura. Esta viscosidade possibilita a existência de uma comunidade biológica que vive acima e abaixo da zona ar-água. Os detergentes alteram drasticamente a tensão superficial da água.

Outra importante característica da água são os seus elevados calores latentes de evaporação (L= 590 cal/g) e fusão (L= 80 cal/g). Deste modo, a água precisa de grandes quantidades de energia para trocar o seu estado físico, conferindo-lhe uma elevada inércia térmica que resulta numa 'demora' em aquecimento e resfriamento. Estas propriedades são extremamente importantes no estabelecimento das características climáticas. Assim, correntes marinhas quentes amenizam o clima (Corrente do Golfo na Inglat-

erra) enquanto que as correntes frias tornam o clima mais rude (Corrente de Humboldt no Chile).

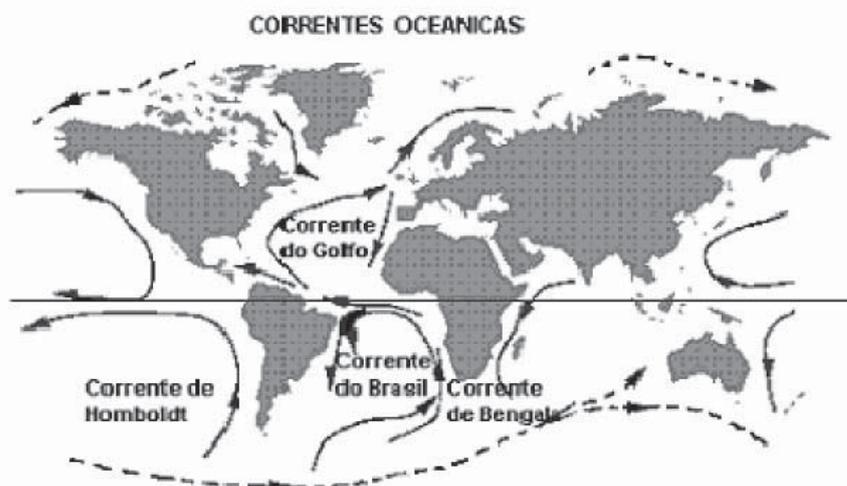



Figura 1.4. Principais correntes oceânicas da biosfera. Correntes quentes, linhas cheias; correntes frias, linhas pontilhadas.

A água pura absorve luz de forma diferencial. Ondas menos energéticas de comprimento longo (vermelho) são absorvidas nos primeiros metros abaixo da superfície. Outros fatores que intervém no processo são a turbidez (soluções em suspensão) e a cor (substancias dissolvidas) que também diminuem a penetração de luz.

Segundo Leonardo da Vinci "a água é o condutor da natureza". A biosfera pode ser definida em termos de disponibilidade de água: é a região do planeta onde há um suprimento de energia externa e água no estado líquido.

O ciclo da água é caracterizado por um depósito atmosférico pequeno, mas extremamente dinâmico e responsável pela caracterização dos climas terrestres. As reservas de água nos continentes são aumentadas pela precipitação atmosférica (chuvas, neves e granizos), uma vez que chove proporcionalmente mais nos continentes se comparados às áreas oceânicas. Grandes regiões do planeta, tais como o vale do Mississipi nos Estados Unidos e a Amazônia oriental, recebem a maior parte de precipitações através de massas de ar oriundas dos oceanos.

O volume total de água da biosfera é de cerca de 1,5 bilhões de quilômetros cúbicos. Esta água está distribuída de modo muito desigual pela superfície da Terra, cuja superfície total é de 512 milhões de Km² (Figura 9.5). A maior parte da água está no mar (97%). Os 3% restantes são constituídos por água doce, onde a maior parte está contida nas geleiras. O depósito de águas subterrâneas é muito maior do que o de águas superficiais. Rios e lagos contribuem muito pouco para o total de água doce existente. No entanto o tempo de renovação médio das águas superficiais é pequeno (ao redor de 1 ano). Outro fator que influencia a distribuição mundial das águas é a latitude, porque altera a pluviometria.

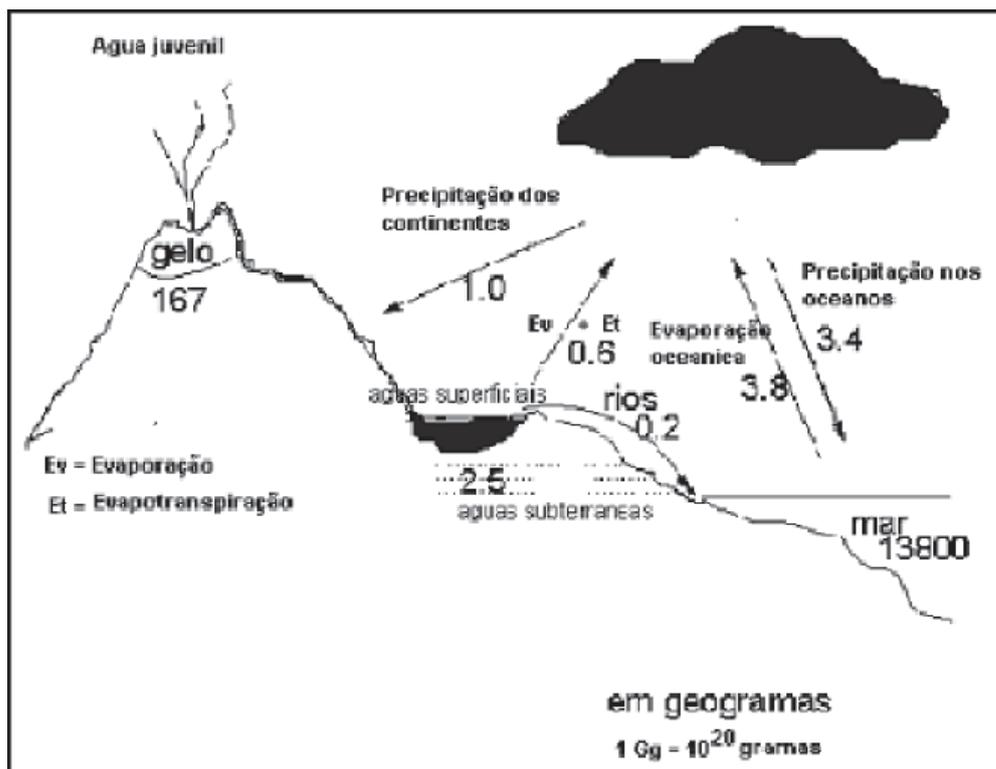



Figura 1.5 Ciclo da água (1,5 bilhões m3); 97% águas marinhas e 3% águas doces, a maior parte retida nas geleiras.

Conforme mostra o diagrama do ciclo hidrológico (Figura 1.5), o compartimento atmosférico de H2O é pequeno, apresentando uma taxa de reposição mais rápida e um tempo de residência mais curto que o CO2. O ciclo da água, como o ciclo do CO2, está começando a ser afetado por atividades humanas em escala global.

Dois aspectos do ciclo da água merecem atenção especial:

1. No ar evapora uma quantidade de água maior do que retorna através da precipitação, no solo ocorre o inverso. Isto tem uma implicação importante, porque parte considerável da precipitação que sustenta os ecossistemas terrestres, incluindo a maior parte da produção alimentar, provém de água evaporada sobre o mar.

2. As atividades humanas aumentam a taxa do escoamento (por exemplo, pavimentando os solos, retificando e canalizando rios, tornando os solos agrícolas mais compactos), o que reduz a reentrada de água nos compartimentos subterrâneos.

CICLO COMPLETO DA ÁGUA

O ciclo da água compreende 4 estágios: estoque, evaporação, precipitação e perdas. A água é armazenada nos oceanos e lagos, rios e sob a terra. A evaporação, incluindo a respiração de plantas, transforma a água em vapor.

A precipitação ocorre quando o vapor d'água do ar se condensa e cai na forma de chuva, ou neve. As perdas acontecem com o movimento morro abaixo, e incluem a água que vai para os lençóis e para o solo.

PERTURBAÇÕES DO CICLO HIDROLÓGICO

A principal perturbação do ciclo hidrológico é esperada pela mudança climática global na forma aquecimento da superfície terrestre. Tais mudanças climáticas afetam o ciclo da água porque provocam o derretimento de geleiras, a alteração nos padrões de precipitação e influenciam nos padrões de transpiração e evapotranspiração de plantas.

CONCLUSÃO

Todos os organismos são constituídos por elementos químicos que fluem nos ecossistemas utilizando energia. A movimentação destes elementos é feita na atmosfera ou no solo. Os ciclos destes elementos permitem com que a circulação se dê do ambiente para os organismos e destes retorna ao ambiente. Esta ciclagem é essencial para a vida.

RESUMO

Os elementos químicos presentes nos ecossistemas têm a propriedade de circular na biosfera em vias características, do ambiente aos organismos e destes, novamente, ao ambiente. Estas vias, mais ou menos circulares, se chamam ciclos biogeoquímicos. O movimento desses pode ser denominado ciclagem de nutrientes.

Cada ciclo é dividido em dois compartimentos: reservatório e ciclagem. Os nutrientes são movidos por grandes distâncias, através dos ventos na atmosfera e do movimento das águas de riachos e correntes oceânicas. Com relação ao ciclo hidrológico, a principal fonte de água são os oceanos. A energia radiante provoca a evaporação da água para a atmosfera, os ventos a distribuem sobre a superfície do globo e a precipitação a traz de volta para a Terra.

A água é o principal composto para a vida, por causa de suas propriedades. O ciclo da água compreende 4 estágios: estoque, evaporação, precipitação e perdas. A água é armazenada nos oceanos, lagos, rios e solos. A evaporação transforma a água em vapor. A precipitação ocorre quando o vapor d'água do ar se condensa e cai na forma de chuva.

ATIVIDADES

1. Discuta como a presença de vegetação modifica o fluxo de água através de um ecossistema.
2. Conceitue o glossário ecológico
a) Ciclagem de nutrientes.
b) Depósitos.
c) Evapotranspiração.
d) Geogramas.
e) Nutrientes.
f) Reservatório.
g) Sedimentar

COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

É impressionante como o desmatamento em larga escala - geralmente praticado para expandir a fronteira agrícola - pode determinar a perda de solo, empobrecimento de nutrientes e acentuar a gravidade das enchentes. A água é um bem precioso; entretanto o ciclo hidrológico prosseguiria com ou sem a presença de uma biota. Como? Associe isso à explicação de como a ação humana afeta o ciclo da água.

PRÓXIMA AULA

Em nosso décimo encontro, continuaremos a estudar os ciclos Biogeoquímicos e suas alterações.

REFERÊNCIAS

ODUM, E. P.; BARRET, G. W. Fundamentos de ecologia. São Paulo: Thomson Learning/Pioneira, 2007.
PINTO-COELHO, R. M. Fundamentos em ecologia. Porto Alegre: Artmed, 2000.
RICKLEFS, R. E. A economia da natureza. [Cidade]: Guanabara Koogan, 2003.
TOWSEND, C. R.; BEGON, M.; HARPER, J. L. Fundamentos em Ecologia. Porto Alegre: Artmed, 2006.